باب 14
پودوں میں تنفس
(Respiration in Plants)

ہم زندہ رہنے کے لیے سانس لیتے ہیں لیکن زندگی کے لیے سانس لینا کیوں ضروری ہے؟ جب ہم سانس لیتے ہیں تو کیا ہوتا ہے۔ کیا سبھی جاندار چیزیں مع نباتات اور جراثیم بھی سانس لیتے ہیں؟ اگر ایسا ہے تو کیسے؟

سبھی جاندار چیزوں کو روزمرہ کی سرگرمیوں کو انجام دینے کے لیے توانائی کی ضرورت ہوتی ہے۔ چاہے وہ انجذاب ہو، ٹرانسپورٹ ہو، چلنا پھرنا، تولید اور چاہے سانس سے متعلق سرگرمی ہو۔ ان تمام کاموں کے لیے توانائی کہاں سے آتی ہے۔ ہم جانتے ہیں کہ توانائی کے حصول کے لیے ہم کھانا کھاتے ہیں لیکن غذا سے یہ توانائی کیسے حاصل ہوتی ہے۔ اس توانائی کا استعمال کیسے ہوتا ہے۔ کیا تمام غذاؤں میں توانائی کی مقدار یکساں ہوتی ہے۔ کیا پودے کھانا کھاتے ہیں؟ نباتات کہاں سے یہ توانائی حاصل کرتے ہیں۔ اور جرثومہ کیا اس توانائی کو حاصل کرنے کے لیے غذا لیتا ہے؟

اوپر کیے گئے سوالات پر آپ کو تعجب ہوگا۔ ایسا لگتا ہے کہ یہ سب غیر اہم سوالات ہیں۔ لیکن سچ یہ ہے کہ سانس لینے کا طریقہ اور غذا سے توانائی کے اخراج کے طریقے میں بہت اہم تعلق ہے۔ آیئے اسے سمجھنے کی کوشش کریں کہ ایسا کیسے ہوتا ہے۔

زندگی کے عملوں کو انجام دینے کے لیے ضروری تمام توانائی کلاں سالمات (جنھیں غذا کہتے ہیں) کی تکسید سے حاصل ہوتی ہے۔ صرف سبز پودے اور سائینو بیکٹیریا اپنی غذا ضیائی تالیف کے ذریعے خود ہی بناتے ہیں، اس عمل میں یہ سورج کی روشنی کو حاصل کرکے اسے کیمیائی توانائی میں تبدیل کر دیتے ہیں جو کاربوہائیڈریٹ کے بانڈز میں جمع ہو جاتی ہے جیسے گلوکوز یا شکر اور نشاستہ (اسٹارچ) کہتے ہیں۔ ہمیں یہ یاد رکھنا چاہیے کہ سبز پودے میں بھی سبھی خلیے، بافت اور اعضا اپنے لیے غذا خود تیار نہیں کرتے، صرف مکوروپلاسٹ پر مشتمل ایسے خلیوں میں ہی ضیائی تالیف ہوتی ہے۔ جو پودے کی

سب سے باہری پرتوں میں پائے جاتے ہیں۔ جو پودے کی سب سے باہری پرتوں میں پائے جاتے ہیں۔حتیٰ کہ پودوں کے وہ اعضا، بافت اور خلیے جو سبز نہیں ہوتے، ان کو بھی تکسید کے لیے غذا کی ضرورت ہوتی ہے۔ لہٰذا غیر سبز حصوں میں بھی غذا پہنچائی جاتی ہے۔ حیوانات دیگر پرورش (Heterotrophic) ہوتے ہیں یعنی یہ اپنی غذا بالواسطہ (گوشت خور) یا بلاواسطہ (نباتات خور) طور پر پودوں سے حاصل کرتے ہیں۔ سیپروفائٹس جیسے فنجائی مردہ اور سڑی گلی اشیا سے اپنی غذا حاصل کرتے ہیں۔ سب سے اہم بات یہ ہے کہ آخر کار زندگی کے عملوں کے لیے توانائی ضیائی تالیف سے ہی حاصل ہوتی ہے۔ اس باب میں خلوی تنفس یا غذا کے ٹوٹنے کے طریقہ عمل کے بارے میں بتایا گیا ہے توانائی پیدا ہوتی ہے اور اے ٹی پی کی تالیف میں اس توانائی کا استعمال ہوتا ہے۔

یوکیریاٹس میں ضیائی تالیف کلوروپلاسٹ میں ہوتی ہے جب کہ سائٹو پلازم اور مائٹوکانڈریا (صرف یوکریوٹس میں) میں پیچیدہ سالمے ٹوٹ کر توانائی فراہم کرتےہیں۔ خلیہ کے اندر تکسید کے ذریعے بڑے مرکبات کے C-C بانڈ کو توڑنے کے دوران ایک خاص مقدار میں توانائی نکلتی ہے جسے تنفس کہتے ہیں۔ وہ مرکبات جن کی تکسید ہوتی ہے اسے تنفّسی سبسٹریٹ کہتے ہیں۔ عموماً کاربوہائڈریٹس، تکسید ہوکر توانائی دیتے ہیں لیکن کچھ خاص حالات میں پروٹین چربی اور یہاں تک کی نامیاتی تیزابیوں کو کچھ پودوں میں تنفّسی اشیا کی طرح استعمال کیا جاتا ہے۔ ایک خلیہ کے اندر تکسید کے دوران تنفّسی سبسٹریٹ میں موجود تمام توانائی خلیہ میں آزادانہ طور پر یا صرف ایک مرحلہ میں نہیں خارج ہوتی۔ اسے بتدریج قدم بہ قدم تعامل کے ایک سلسلے میں خامروں کے ذریعے کنٹرول کرکے خارج کیا جاتا ہے۔ اور اس کو اے ٹی پی کی صورت میں کیمیائی توانائی کی طرح حاصل کیا جاتا ہے۔ لہٰذا یہ سمجھنا اہم ہے کہ تنفس میں تکسید کے ذریعے جو توانائی خارج ہوتی ہے اس کا استعمال بالواسطہ نہیں بلکہ اے ٹی پی کی تالیف میں کیا جاتا ہے، جو جہاں کہیں بھی (اور جب کبھی بھی) ضرورت ہوتی ہے، ٹوٹ کر توانائی بہم پہنچاتا ہے۔ لہٰذا اے ٹی پی، خلیہ کی توانائی کرنسی ہوتی ہے۔ توانائی اے ٹی پی کی شکل میں مقید ہوتی ہے جسے عضویوں میں استعمال کیا جاتا ہے اور تنفس کے دوران پیدا ہونے والے کاربن ڈھانچے کا استعمال خلیہ میں دوسرے جہاں توانائی کی ضرورت ہوتی ہے سالموں کی حیاتیاتی تالیف کے لیے تمہیدی شے کے طور پر کیا جاتا ہے۔

14.1 کیا پودے سانس لیتے ہیں؟ (Do Plants Breathe?)

اس سوال کا جواب سیدھا سا نہیں ہے۔ ہاں پودوں کو تنفس کے لیے O_2 کی ضرورت ہوتی ہے اور یہ CO_2 خارج کرتے ہیں۔ پودوں میں ایسے نظامات ہوتے ہیں جو O_2 کی دستیابی کو یقینی بناتے ہیں۔ پودوں میں جانوروں کی طرح، گیسوں کے تبادلے کے لیے خصوصی اعضا نہیں ہوتے، لیکن ان میں اس کام کو انجام دینے کے لیے اسٹومیٹا اور لینٹیکلس (Lenticels) پائے جاتے ہیں۔ پودے تنفّسی اعضا کے بنا ہی کیسے اپنا کام چلا لیتے ہیں؟ اس کی بہت ساری وجوہات ہیں۔ پہلی وجہ یہ ہے کہ پودے کا ہر ایک حصّہ گیس کے تبادلے کو انجام دیتا ہے۔ پودے کے ایک حصّے سے دوسرے حصے میں بہت کم گیس کا آنا جانا ہوتا ہے۔ دوسری وجہ کہ پودوں میں گیسوں کا تبادلہ کرنے کی ضرورت بہت زیادہ نہیں ہوتی۔ جڑ، تنا اور پتیاں جانوروں کی بہ نسبت بہت کم سانس لیتے ہیں۔ صرف ضیائی تالیف کے دوران

زیادہ مقدار میں گیسوں کا تبادلہ ہوتا ہے۔ اور اس درمیان ہر ایک پتی اپنی ضروریات کے حساب سے گیسوں کا تبادلہ کرتی ہے۔ جب خلیہ میں ضیائی تالیف ہوتی ہے تو اس خلیہ میں O_2 کی دستیابی کوئی مسئلہ نہیں ہے چونکہ خلیہ کے اندر ہی O_2 خارج ہوتی ہے۔ تیسری وجہ وہ فاصلہ جس میں بڑے سے بڑے درخت میں گیسوں کا نفوذ ہونا ہے بہت زیادہ نہیں ہوتا۔ پودوں میں ہر ایک زندہ خلیہ پودے کی سطح کے بہت قریب ہوتا ہے۔ یہ پتیوں کے لیے تو صحیح ہے لیکن آپ پوچھ سکتے ہیں کہ موٹا چوبی تنا اور جڑوں میں کیا ہوتا ہے؟ تنوں میں یہ زندہ خلیے چھال کے اندر اور نیچے پتلی تہہ کی شکل مرتب ہوتے ہیں ان میں دہانے ہوتے ہیں جنھیں لینٹیکلس کہتے ہیں۔ اندرونی خلیے بے جان ہوتے ہیں اور صرف میکانیکی سہارا فراہم کرتے ہیں، لہٰذا پودوں کے زیادہ تر خلیوں کی سطح کا کچھ حصہ ہوا کے ربط میں رہتا ہے۔ اس کام میں پتیوں اور جڑوں میں پائے جانے والے پیرنکائمہ خلیوں کی ڈھیلی ڈھاپیکنگ کی وجہ سے مدد ملتی ہے جو ہوائی جگہوں کا باہم مربوط جال فراہم کرتے ہیں۔

گلوکوز کے مکمل احتراق کے نتیجے میں CO_2 اور پانی پیدا ہوتے ہیں۔ اس عمل کے دوران توانائی خارج ہوتی ہے جو زیادہ تر حرارت کی شکل میں ہوتی ہے۔ اگر یہ توانائی خلیہ کے لیے فائدہ مند ہوتا تو اسے اس لائق ہونا چاہیے کہ اسے خلیہ کی ضرورت کے لحاظ سے دوسرے سالمات کو بنانے کے لیے استعمال کیا جا سکے۔

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + Energy$$

پودوں کے خلیے گلوکوز سالمے کو اس طرح توڑتے ہیں کہ تمام خارج شدہ حرارت توانائی کی صورت میں باہر نہیں نکلتی۔ اہم بات یہ ہے کہ گلوکوز کی تکسید ایک مرحلہ میں نہ ہوکر چھوٹے چھوٹے بہت سارے مرحلہ میں ہوتی ہے جن میں کچھ مرحلے اتنے بڑے ہوتے ہیں کہ ان سے نکلنے والی توانائی اے ٹی پی کے بننے میں استعمال ہوتی ہے۔ یہ کیسے ہوتا ہے حقیقت میں یہی تنفس کی کہانی ہے۔

تنفس کے دوران آکسیجن کا استعمال ہوتا ہے اور کاربن ڈائی آکسائڈ پانی اور توانائی ماحصلات کی صورت میں خارج ہوتے ہیں۔ احتراقی تعامل میں آکسیجن کی ضرورت ہوتی ہے۔ لیکن کچھ خلیے آکسیجن کی موجودگی اور غیر موجودگی میں بھی زندہ رہتے ہیں۔ کیا آپ ایسی صورت حال کے بارے میں سوچ سکتے ہیں جہاں آکسیجن نہیں ہوتی۔ یقین کرنے کے لیے کئی وجوہات ہیں پہلا خلیہ اس کرہ ارض پر ایسے ماحول میں رہتا تھا جہاں آکسیجن موجود نہیں تھی۔ حتیٰ کہ موجودہ جاندار عضویوں کے بارے میں ہم جانتے ہیں کہ کچھ عضویے غیر ہوا باش (جہاں آکسیجن نہ ہو) ماحول میں اپنے آپ کو ڈھال چکے ہیں۔ ان میں سے کچھ (Facultive) غیر ہوا باش ہیں جب کہ کچھ کے لیے آکسیجن کی غیر موجودگی لازمی ہے۔ بہرحال سبھی جانداروں میں انزائموں پر مشتمل مشینری ہوتی ہے جو گلوکوز کی آکسیجن کی مدد کے بغیر جزوی طور پر تکسید کرتی ہے۔ اس طرح گلوکوز کا پائیرووک ایسڈ (Pyruvic acid) میں ٹوٹنا گلائیکولیسس کہلاتا ہے۔

14.2 گلائیکولِسس (Glycolysis)

گلائیکولِسس لفظ کی ابتدا یونانی لفظ گلائیکوز یعنی شکر اور لِسس (Lysis) یعنی ٹوٹنے سے ہوئی ہے۔ گلائیکولیسس کا منصوبہ گستوامبڈن، اوٹو میریاف اور جے پارنس نے پیش کیا تھا اور اسے اکثر ای ایم پی پاتھ وے کہتے ہیں۔ غیر ہوا باش جانداروں میں تنفس کا صرف یہی طریقہ ہے۔ گلائیکولیسس خلیہ کے سائٹوپلازم میں ہوتا ہے اور یہ سبھی جانداروں میں

ملتا ہے۔ اس طریقہ میں گلوکوز جزوی تکسید کے ذریعے پائروِوک ایسڈ کے دو سالموں میں بدل جاتا ہے۔ پودوں میں یہ گلوکوز سکروز سے حاصل ہوتا ہے جو ضیائی تالیف یا ذخیرہ شدہ کاربوہائڈریٹ کا آخری ماحصل ہے۔ سکروز انورٹیز (Invertase) انزائم کے ذریعے گلوکوز اور فرکٹوز میں تبدیل ہو جاتا ہے اور یہ دونوں مونوسکرائڈ آسانی سے گلائی کولیٹک پاتھ وے میں داخل ہو جاتے ہیں۔ گلوکوز اور فرکٹوز کا ہیکسو کائنیز خامرے کے ذریعے فاسفورائی لِشن ہوتا ہے جس کے نتیجے میں گلوکوز-6- فاسفیٹ بناتا ہے۔ پھر یہ فرکٹوز-6- فاسفیٹ میں تبدیل ہو جاتا ہے۔ گلوکوز اور فرکٹوز کے تحول کے اگلے مراحل ایک جیسے ہی ہیں۔ گلائیکولِسس کے مختلف مرحلے شکل 14.1 میں دکھائے گئے ہیں۔ گلائیکولِسس اس دس تعاملات کا ایک سلسلہ ہے مختلف خامروں کے ذریعے کنٹرول ہوتا ہے اور اس کے نتیجے میں گلوکوز سے (Pyruvate) بنتا ہے۔ گلائیکولِسس کے مختلف مراحل کا مطالعہ کرتے وقت اس قدم پر دھیان دیجئے جس میں اے۔ٹی۔پی کا استعمال یا اے ٹی پی کی تالیف $NADH+H^+$ واقع ہوتا ہے۔

اے ٹی پی کا استعمال دو مرحلوں میں ہوتا ہے: پہلے مرحلہ میں جب گلوکوز، گلوکوز-6- فاسفیٹ میں بدلتا ہے اور دوسرے مرحلہ میں فرکٹوز-6- فاسفیٹ کو فرکٹوز 1، 6 ڈائی فاسفیٹ میں بدلتا ہے۔

فرکٹوز 1، 6 ڈائی فاسفیٹ ٹوٹ کر ڈائی ہائڈراکسی ایسی ٹون فاسفیٹ اور 3- فاسفوگلسیرل ڈیہائڈ (PGAL) بناتا ہے۔ ہم دیکھتے ہیں کہ ایسا ایک مرحلہ ہے جس میں NAD^+ سے $NADH+H^+$ بنتا ہے۔ یہ اس وقت ہوتا ہے جب 3- فاسفوگلسرل ڈیہائڈ تبدیل ہوکر 1، 3 بائی فاسفوگلیسیریٹ (BPGA) بنتا ہے۔ PGAL سے دو ریڈاکس (Redox) معادلات (دو ہائڈروجن ایٹموں کی شکل میں) الگ ہوکر NAD^+ کے سالمے میں پر منتقل ہو جاتے ہیں۔ PGAL تکسید ہوکر غیر نامیاتی فاسفیٹ سے مل کر BPGA میں بدل جاتا ہے۔ BPGA کا 3- فاسفوگلیسیرک ایسڈ میں بدلنا، توانائی پیدا کرنے والا عمل ہے۔ اس توانائی کا استعمال اے ٹی پی کے بننے میں ہوتا ہے۔ PEP سے پائی روِوک ایسڈ بننے کے دوران بھی اے ٹی پی بنتا ہے۔ کیا آپ یہ بتا سکتے ہیں کہ گلوکوز کے ایک سالمے سے بلاواسطہ طور پر اے ٹی پی کے کتنے سالمے بنتے ہیں؟

پائی روِوک ایسڈ گلائیکولِسس کا اہم ماحصل ہے۔ پائی رووِیٹ کا تحولی نتیجہ کیا ہے کا انحصار خلوی ضروریات پر ہے۔ گلائیکولیسس کے دوران پیدا

شکل 14.1 گلائکولسیس کے مراحل

ہوئے پائی رووک ایسڈ کا استعمال مختلف خلیے، تین الگ الگ طریقوں سے کرتے ہیں— لیکٹک ایسڈ تخمیر، الکحل تخمیر اور ہواباش تنفس۔ زیادہ تر پروکریوٹس اور یک خلوی یوکیریوٹ میں تخمیر آکسیجن کی غیر موجودگی میں ہوتی ہے۔گلوکوز کی مکمل تکسید کے لیے جس میں CO_2 اور پانی بنتا ہے، جاندار کریب دور کا استعمال کرتے ہیں جسے ہواباش تنفس کہتے ہیں۔اس میں آکسیجن کی موجودگی ضروری ہے۔

14.3 تخمیر (Fermentation)

تخمیر میں ایسٹ کے ذریعے گلوکوز کی آکسیجن کی غیر موجودگی میں نامکمل تکسید ہوتی ہے اس کے تحت مختلف مرحلوں میں پائی رووک ایسڈ CO_2، اور ایتھنال میں تبدیل ہوجاتا ہے۔ کچھ دوسرے جاندار عضویوں جیسے کچھ بیکٹیریا میں پائی رووک ایسڈ سے لیکٹک ایسڈ بنتا ہے، پائی رووک ایسڈ ڈی کاربوکسی لیز اور الکحل ڈی ہائڈروجینیز جیسے انزائم ان تعاملات میں عمل انگیز کے طور پر کام کرتے ہیں۔ان مرحلوں کو شکل 14.2 میں دکھایا گیا ہے۔ جانوروں کے عضلاتی خلیوں میں ورزش کے دوران جب خلوی کے تنفس کے لیے مقررہ مقدار میں آکسیجن نہیں ہوتی تب پائی رووک ایسڈ، لیکٹک ڈی ہائڈروجینیز کے ذریعے لیکٹک ایسڈ میں تبدیل ہوجاتا ہے اور $NADH+H^+$ تحویلی اجینٹ ہے جس کی دونوں عملوں کے دوران +NAD میں دوبارہ تکسید ہوجاتی ہے۔

لیکٹک ایسڈ اور الکحل تخمیر دونوں میں بہت زیادہ توانائی نہیں نکلتی۔گلوکوز سے 7 فی صد سے کم توانائی نکلتی ہے اور اس کا بھی بیشتر حصہ اے ٹی پی (ATP) کے بہت زیادہ توانائی والے بانڈ کی شکل میں مقید نہیں ہوتا۔اس کے علاوہ یہ عمل خطرناک / نقصان دہ ہوتے ہیں خواہ اس میں ایسڈ کی تشکیل ہوتی ہو یا الکحل کی۔گلوکوز کے ایک سالمے سے تخمیر کے بعد الکحل یا لیکٹک ایسڈ بننے کے دوران کتنا اے ٹی پی بنتا ہے (یعنی Glycolysis کے دوران استعمال میں آنے والی اے ٹی پی (ATP) کی تعداد گھٹا کر دیکھیں گے کہ کتنا اے ٹی پی (ATP) بنتا ہے۔) جب الکحل کی مقدار 13 فیصد یا اس سے زیادہ ہوتو یہ مقدار ایسٹ کے مرنے کی وجہ بن جاتی ہے۔قدرتی تخمیر سے بنے مشروب میں الکحل کا ارتکاز کتنا ہوگا؟ آپ کے مطابق الکحلی مشروب میں الکحل کی مقدار کے اس ارتکاز سے زیادہ کیسے حاصل کی جاتی ہے؟

شکل 14.2 غیر ہواباش تنفس کے اہم مراحل

وہ کیا طریقہ ہے جس کی ذریعے جاندار عضویوں میں گلوکوز کی مکمل تکسید ہوتی ہے اور خلوی تحول کے لیے درکار بڑی تعداد میں ATP سالمات کی تالیف کے لیے توانائی کا استخراج کیا جاتا ہے۔ یوکیروٹس میں تمام مرحلے مائی ٹوکانڈریا میں واقع ہوتے ہیں، جس کے لیے آکسیجن کی ضرورت ہوتی ہے۔ ہواباش تنفس کے ذریعے نامیاتی اشیا کی آکسیجن کے موجودگی میں مکمل تکسید ہوتی ہے اور جس کے نتیجے میں کاربن ڈائی آکسائڈ، پانی اور توانائی نکلتی ہے۔اس طرح کا تنفس عموماً اعلیٰ جانداروں میں ملتا ہے۔ہم اِن طریقوں کو اگلے حصّہ میں پڑھیں گے۔

14.4 ہواباش تنفس (Aerobic Respiration)

مائی ٹو کانڈریا میں ہونے والے ہواباش تنفس کے لیے گلائیکولسس کے آخری ماحصل پائرووییٹ کو سائٹو پلازم سے مائی ٹوکانڈریا میں لے جایا جاتا ہے۔ ہواباش تنفس کے اہم مرحلے مندرجہ ذیل ہیں:

- سبھی ہائڈروجن ایٹموں کے مرحلہ وار اخراج کے ذریعے پائرووییٹ کی مکمل تکسید جس میں CO_2 کے تین سالمے بھی بنتے ہیں۔
- ہائڈروجن ایٹموں سے الگ ہونے والے الکٹرانوں کا سالماتی، آکسیجن پر منتقل ہونا اور اسی وقت اے ٹی پی (ATP) کی تالیف ہوتی ہے۔

سب سے زیادہ اہم بات یہ ہے کہ اس کا پہلا مرحلہ مائی ٹو کانڈریا کے میٹرکس میں تکمیل پاتا ہے جب کہ دوسرا مرحلہ مائٹوں کونڈریا کی اندرونی جھلّی میں ہوتا ہے۔

گلائکولائٹک کیٹا بولزم (Glycolytic Catabolism) کے ذریعے بننے والے پائی ویٹ جب مائی ٹو کانڈریا کے میٹرکس میں داخل ہوتا ہے اس کا تکسیدی ڈی کاربوکسیلیشن (Oxidative Decarboxylation) ہوتا ہے اور یہ عمل پائر ووک ڈی ہائڈ روجنیز (Pyrurvic dehydrogenase) انزائم کی موجودگی میں متعدد پیچیدہ تعاملات کے ذریعے واقع ہوتا ہے۔ پائرووک ڈی ہائڈووجنیز (Pyruvic dehydrogenase) سے عمل انگیز ہونے والے تعامل میں بہت سارے معاون خامرے (Coenzyme) حصہ لیتے ہیں۔ جیسے NAD^+ اور کوانزائم –A۔

$$\text{Pyruvic acid} + \text{CoA} + \text{NAD}^+ \xrightarrow[\text{Pyruvate dehydrogenase}]{\text{Mg}^{2+}} \text{Acetyl CoA} + \text{CO}_2 + \text{NADH} + \text{H}^+$$

اس عمل کے دوران پائرووک ایسڈ (Pyruvic acid) کے دو سالموں کے تحول سے NADH کے دو سالمے بنتے ہیں (پائرووک ایسڈ گلائیکولیسس کے دوران گلوکوز کے ایک سالمے سے بنتا ہے)۔

ایسیٹائل CoA ایک دائری پاتھ وے ٹرائی کاربوکسلک ایسڈ سائیکل میں داخل ہوتا ہے۔ اس کا انکشاف Hans Krebs کے ذریعے کیا گیا اسی لیے اس کو کریب سائیکل (Krebs Cycle) کہتے ہیں۔

شکل 14.3 سائٹرک ایسڈ سائیکل

14.4.1 ٹرائی کاربوکسلک ایسڈ سائیکل (Tricarboxylic Acid Cycle)

ٹی سی اے سائیکل کی ابتدا ایسیٹائل گروپ Oxaloacetic acid (OAA) اور پانی کے ساتھ تکثیف سے ہوتا ہے جس کے نتیجے میں سائٹرک ایسڈ بنتا ہے۔ (شکل 14.3)۔ یہ تعامل سٹریٹ سنتھیٹیز (Citrate synthase) خامرے کے ذریعے ہوتا ہے اور COA کا ایک سالمہ خارج ہوتا ہے۔ سٹریٹ بعدازاں (Isocitrate) میں تبدیل ہوجاتا ہے۔ یہ کام ڈی آکسی کاربوکسیلیشن (decarboxylation) کے دو

لگاتار مرحلوں کے ذریعے ہوتا ہے۔ اس کے بعد الفا کیٹوگلوٹینک ایسڈ (α-Ketoglutanic acid) اور اس کے بعد سکسینائل CoA بنتا ہے۔ سٹرک ایسڈ کے باقی مراحل میں سکسینائل CoA آکسیلوایسٹک ایسڈ، (OAA) میں تکسید ہوکر سائیکل کو آگے بڑھانے میں مدد کرتا ہے۔ سکسینائل CoA سے سکسنیک ایسڈ (Succinic acid) بننے کے دوران جی ٹی پی کا ایک سالمہ بنتا ہے۔ اسے سسٹریٹ لیول فاسفوریلیشن کہتے ہیں۔ تعاملات کے ایک جوڑے کے نتیجے میں جی ٹی پی، جی ڈی پی میں بدلتا ہے اور اے ڈی پی سے اے ٹی پی بنتا ہے۔ سائیکل میں تین جگہیں ایسی ہوتی ہیں جس میں NAD^+ کی تحول ہوتی ہے اور $NADH+H^+$ بنتا ہے اور ایک جگہ پر FAD^+ کی تحویل ہوتی ہے اور $FADH_2$ بنتا ہے۔ TCA سائیکل کے ذریعے ایسیٹک ایسڈ (acetic acid) کی مسلسل تکسید کے لیے آکسیلوایسٹک ایسڈ (Oxaloacetic acid) کی تجدید ضروری ہے۔ جو سائیکل کا پہلا رکن ہے۔ اس کے ساتھ ساتھ NAD^+ اور FAD^+ بالترتیب NADH اور $FADH_2$ دوبارہ بنتے ہیں۔ تنفس کے اس مرحلے کا مندرجہ ذیل مساوات کے ذریعے اظہار کیا جاسکتا ہے:

$$\text{Pyruvic acid} + 4NAD^+ + FAD^+ + 2H_2O + ADP + Pi \xrightarrow{\text{Mitochondrial Matrix}} 3CO_2 + 4NADH + 4H^+ + FADH_2 + ATP$$

اب ہم دیکھ چکے ہیں کہ گلوکوز کے ٹوٹنے سے کاربن ڈائی آکسائڈ خارج ہوتی ہے، $NADH+H^+$ کے آٹھ سالمے، $FADH_2$ کے دو سالمے اور دو اے ٹی پی کے سالمے بنتے ہیں۔ آپ کو تعجب ہوگا کہ ابھی تک تنفس کی بحث کے دوران نہ تو آکسیجن کے شامل ہونے اور نہ ہی بڑی مقدار میں اے ٹی پی کے سالموں کے بننے کا ذکر ہوا ہے اب تالیف شدہ $NADH+H^+$ اور $FADH_2$ کا کیا کردار ہوگا۔ ہمیں اب سمجھنا ہوگا کہ تنفس میں آکسیجن کا کیا کام ہے اور اے ٹی پی کیسے بنتا ہے۔

14.4.2 الیکٹران ٹرانسپورٹ نظام اور تکسیدی فاسفوریلیشن (Electron Transport System (ETS) and Oxidative Phosphorylation)

تنفس کے عمل کے اگلے مرحلے میں $NADH+H^+$ اور $FADH_2$ میں ذخیرہ شدہ توانائی خارج ہوتی ہے اور اسے استعمال میں لایا جاتا ہے۔ یہ اس وقت مکمل ہوتا ہے جب اس کی تکسید الیکٹران ٹرانسپورٹ نظام کے ذریعے ہوتی ہے اور الیکٹران آکسیجن پر چلا جاتا ہے اور پانی بنتا ہے۔

تحولی پاتھ وے جس کے ذریعے الیکٹران ایک حمال (Carrier) سے دوسرے حمال پر چلا جاتا ہے، اسے الیکٹران ٹرانسپورٹ سسٹم (ETS) کہتے ہیں۔ (شکل 14.4) اور یہ مائی ٹوکانڈریا کی اندرونی جھلی میں موجود ہوتا ہے۔ مائی ٹوکانڈریا کے میٹرکس (Matrix) میں سٹرک ایسڈ سائیکل کے دوران NADH سے بننے والے الیکٹران NADH ڈی ہائڈروجینیز (کمپلیکس) خامرے کے ذریعے تکسید ہوتے ہیں۔ اور پھر الیکٹرانز اندرونی جھلی میں پائے جانے والے (Ubiquinone) پر منتقل ہو جاتا ہے۔ یوبی کیونون $FADH_2$ (کمپلیکس II) کے ذریعہ تحویلی معادلات کو حاصل کرتا ہے جو سٹرک ایسڈ سائیکل میں سکسینیٹ کی تکسید کے دوران بنتا ہے۔ تحویل شدہ یوبی کیو نول الیکٹران کو سائٹوکروم bc_1 (کمپلیکس III) سے ہوتے ہوئے سائٹوکروم C پر منتقل کر کے تکسید ہوجاتا ہے۔ سائٹوکروم C ایک چھوٹا پروٹین ہے جو اندرونی جھلی کی باہری سطح پر چپکا ہوتا ہے جو کمپلیکس III- (Complex-III) کو اور کمپلیکس IV- (Complex-IV)

شکل **14.4** الیکٹران ٹرانسپورٹ نظام (ETS)

کے بیچ الیکٹرانوں کی منتقلی کے لیے متحرک حمال کا کام کرتا ہے۔ کمپلیکس-IV سائٹوکروم C آکسی ڈیز کمپلیکس ہے جس میں سائٹوکروم a، a_3 اور دو کاپر مرکز پائے جاتے ہیں۔

جب الیکٹران ETC میں ایک جگہ سے دوسری جگہ تک کمپلیکس-I (Complex-I) سے کمپلیکس-IV (Complex-IV) کے ذریعے گزرتے ہیں تب یہ اے ٹی پی سنتھیز (Complex-V) سے جڑ کر اے ڈی پی اور غیر نامیاتی فاسفیٹ سے اے ٹی پی بناتا ہے۔ اس دوران بننے والے اے ٹی پی سالموں کی تعداد الکٹران معطی (Donor) پر منحصر ہوتی ہے۔ تو NADH کے ایک سالمے کی تکسید سے اے ٹی پی کے تین سالمے بنتے ہیں جب کہ $FADH_2$ کے ایک سالمے سے اے ٹی پی کے دو سالمے بنتے ہیں۔ حالانکہ تنفس کا ہوا باش طریقہ صرف آکسیجن کی موجودگی میں ہی بروئے کار لایا جاتا ہے لیکن اس عمل کے آخری مرحلہ میں آکسیجن کا رول محدود ہے۔ پھر بھی آکسیجن کا ہونا ضروری ہے کیوں کہ یہ اس نظام سے H_2 (ہائیڈروجن) کو نکال کر پورے عمل کو چلاتا ہے۔ آکسیجن آخری ہائڈروجن قبول کنندہ کی صورت میں کام کرتا ہے۔ فوٹو فاسفوری لیشن کے برعکس جہاں پروٹان ڈھلان کے بننے میں روشنی کی توانائی کا استعمال فاسفوری لیشن کے لیے ہوتا ہے، تنفس کے عمل میں تکسید و تحویل کے ذریعے حاصل ہونے والی توانائی کو اسی مقصد کے لیے استعمال کیا جاتا ہے۔ اس لیے اس عمل کو تکسیدی فاسفوری لیشن کہتے ہیں۔

جھلّی سے جڑے اے ٹی پی بننے کے طریقے کے بارے میں آپ پہلے ہی پڑھ چکے ہیں جسے گذشتہ باب میں کیمیائی ولوجی مفروضہ (Chemiosmotic hypothesis) کے بنیاد پر بتایا گیا ہے۔ جیسا کہ پہلے مذکور ہے کہ الیکٹران ٹرانسپورٹ نظام کے دوران نکلنے والی توانائی کا استعمال اے ٹی پی سنتھیز (کمپلیکس-V) کی مدد سے اے ٹی پی کے بننے میں ہوتا ہے۔ یہ کمپلیکس دو اہم اجزا F_0 اور F_1 سے بنتا ہے (شکل 14.5)۔ F_1 ہیڈ پیس ایک محیطی جھلّی پروٹین کمپلیکس ہے جہاں پر غیر نامیاتی فاسفیٹ اور اے ڈی پی سے اے ٹی پی بنتا ہے۔ F_0 ایک مسلّم جھلّی پروٹین کمپلیکس ہے جو ایسا چینل بناتا ہے جس سے ہو کر پروٹان اندرونی جھلی کو پار کرتے ہیں۔ چینل کے ذریعے پروٹانوں کا گزر F_1 جز کے کیٹلائٹک مقام کے ساتھ وابستہ ہوجاتا ہے اور ATP بنتا ہے۔ ہر ایک ATP کی تالیف کے لیے +2H آین F_0 سے ہوکر بین جھلی فضا سے برف کیمیائی پروٹان ڈھلان کی طرف میٹرکس میں جاتے ہیں۔

14.5 تنفّسی بیلنس شیٹ (The Respiratory Balance Sheet)

ہر ایک تکسید شدہ گلوکوز کے سالمے سے بننے والے اے ٹی پی کی تحسیب کرنا اب ممکن ہے۔ لیکن حقیقت میں یہ ایک نظریاتی مشق ہی رہ گیا ہے۔ یہ تحسیب کچھ خاص مفروضات کے بنیاد پر ہی کی جاسکتی ہے۔

- یہ ایک سلسلے وار مرتب، تفاعلی پاتھ وے ہے جس میں ایک سبسٹریٹ (Substrate) سے دوسرا سبسٹریٹ بنتا ہے جس میں گلائی کولسس سے شروع ہوکر TCA سائیکل اور ای ٹی ایس (ETS) یکے بعد دیگرے آتے ہیں۔
- گلائیکولسس میں بنا NADH مائٹوکانڈریا میں آتا ہے جہاں اس کا فاسفورائی لیشن ہوتا ۔
- راستے کا کوئی بھی ضمنی ماحصل دوسرے چیزوں کے بننے کے لیے استعمال میں نہیں آتا ہے۔
- تنفس میں صرف گلوکوز کا ہی استعمال ہوتا ہے۔ کوئی دوسرا متبادل سبسٹریٹ راستے کے کسی بھی ضمنی مرحلہ پر پاتھ وے میں داخل نہیں ہوتا ہے۔

شکل 14.5 مائٹوکانڈریا میں ATP بننے کا خاکہ

لیکن اس طرح کا مفروضہ جانداروں کے نظام کے لیے معقول نہیں ہے۔ سبھی راستے ایک کے بعد ایک نہیں، بلکہ ایک ساتھ کام کرتے ہیں۔ راستے میں سبسٹریٹس ضرورت کے بنیاد پر باہر اور اندر آجاسکتے ہیں۔ حسب ضرورت اے ٹی پی کا استعمال ہوسکتا ہے۔ خامروں کے عمل کی رفتار کو بہت سارے طریقوں کے ذریعے قابو میں کیا جاتا ہے۔ پھر بھی اس عمل کا ہونا ضروری ہے کیونکہ جاندار نظاموں میں توانائی کا اخراج اور ذخیرہ اندوزی کے لیے کارکردگی قابل ستائش ہے۔ اس لیے ہواباش تنفس کے دوران گلوکوز کے ایک سالمے سے اے ٹی پی کے 36 سالمے حاصل ہوتے ہیں۔

اب ہم تخمیر (Fermentation) اور ہواباش تنفس کا موازنہ کر سکتے ہیں۔

- تخمیر میں گلوکوز جزوی طور پر ہی ٹوٹ پاتا ہے جب کہ ہواباش تنفس کے دوران یہ پوری طرح ٹوٹ جاتا ہے اور کاربن ڈائی آکسائڈ اور پانی بناتا ہے۔
- تخمیر میں گلوکوز کے ایک سالمے سے پائی رووک ایسڈ بننے کے دوران اے ٹی پی کے دو سالمے حاصل ہوتے ہیں جب کہ ہواباش تنفس میں بہت زیادہ اے ٹی پی کے سالمے بنتے ہیں۔
- تخمیر میں NADH کی NAD^+ میں تکسید دھیرے دھیرے ہوتی ہے جب کہ ہواباش تنفس میں یہ تعامل تیز رفتار کے ساتھ ہوتا ہے۔

14.6 امفی بولک پاتھ وے (Amphibolic Pathway)

تنفس کے لیے گلوکوز مناسب سبسٹریٹ ہے۔ تنفس میں سبھی کاربوہائڈریٹ استعمال میں لانے سے پہلے گلوکوز میں تبدیل ہوتے ہیں۔ جیسا کہ پہلے بتایا جاچکا ہے کہ دوسرا سبسٹریٹ بھی تنفس میں استعمال کیا جاسکتا ہے۔ لیکن تب یہ تنفس کے پہلے مرحلے میں استعمال میں نہیں آتے ہیں۔ شکل 14.6 میں دیکھئے کہ مختلف سبسٹریٹ تنفّسی پاتھ وے میں کن نقطوں پر داخل ہوتے ہیں۔ چربی سب سے پہلے گلیسرال اور فیٹی ایسڈ میں ٹوٹتی ہے۔ اگر فیٹی ایسڈ تنفس میں استعمال ہوتا ہے تو وہ پہلے ایسیٹائل CoA بن کر راستے میں داخل ہوتا ہے۔ گلیسرال پہلے PGAL میں بدل کر تنفس کے راستے میں داخل ہوتا ہے۔ پروٹین، پروٹی ایز خامرے کے ذریعے ٹوٹ کر امینو ایسڈ بناتا ہے۔ ہر ایک

امینوایسڈ (ڈی ایمینیشن کے بعد) اپنی ساخت کی بنیاد پر کریب سائیکل کے اندر مختلف مرحلوں میں داخل ہوتا ہے۔

چونکہ تنفس کے دوران سبسٹریٹ ٹوٹتے ہیں اس لیے تنفس روایتی طور پر ایک کیٹابولک عمل ہے اور تنفس کا راستہ کیٹابولک پاتھ وے ہے۔ لیکن آپ کیا اسے ٹھیک سمجھتے ہیں؟ اوپر یہ بتایا جاچکا ہے کہ مختلف سبسٹریٹ اگر ان سے توانائی حاصل کرتی ہے تو تنفس کے راستے میں کہاں داخل ہوتے ہیں۔ یہ جاننا اہم ہے کہ یہ مرکبات اوپر بتائے گئے سبسٹریٹ کو بنانے کے لیے تنفس کے راستے سے نکالے بھی جاسکتے ہیں۔ اس لیے راستے میں داخل کرنے سے پہلے فیٹی ایسڈ جب سبسٹریٹ کی صورت میں استعمال ہو تو تنفس کے راستے میں استعمال میں آنے سے پہلے ایسٹائل CoA میں ٹوٹ جاتا ہے۔ جب جانداروں کو فیٹی ایسڈ بنانا ہوتا ہے تو تنفس کے راستے سے ایسٹائل CoA الگ ہوجاتا ہے۔ اس لیے فیٹی ایسڈ کے بننے اور ٹوٹنے کے دوران تنفس کے راستے کا استعمال ہوتا ہے۔ اسی طرح سے پروٹین کے بننے اور ٹوٹنے کے دوران بھی ہوتا ہے۔ جانداروں میں ٹوٹنے کے عمل کو کیٹابولزم اور بننے کے طریقے کو اینابولزم کہتے ہیں۔ چونکہ تنفس کے راستے میں اینابولزم اور کیٹابولزم دونوں ہی ہوتے ہیں، اس لیے تنفس کے راستے

شکل 14.6 تحولی پاتھ وے کا آپسی تعلق جس میں مختلف نامیاتی سالمے تنفس کے دوران CO_2 اور H_2O میں ٹوٹ جاتے ہیں۔

کو امفی بولک پاتھ وے کہتے ہیں نہ کہ کیٹا بولک پاتھ وے کیونکہ یہ اینا بولزم اور کیٹا بولزم دونوں میں حصہ لیتا ہے۔

14.7 تنفّسی تناسب (Respiratory Quotient)

اب تنفس کے دوسرے پہلو کو دیکھتے ہیں۔جیسا کہ آپ جانتے ہیں کہ ہوا باش تنفس کے دوران آکسیجن کا استعمال ہوتا ہے اور کاربن ڈائی آکسائیڈ خارج ہوتی ہے۔تنفس کے دوران خارج ہونے والی کاربن ڈائی آکسائڈ اور استعمال ہونے والی آکسیجن کی نسبت کو تنفّسی خارج قسمت یا (Respiration Quotient) (RQ) یا تنفّسی تناسب کہتے ہیں۔

تنفّسی خارج قسمت (RQ) = نکلے ہوئے کاربن ڈائی آکسائڈ کا حجم / استعمال کیے گئے آکسیجن کا حجم

تنفّسی تناسب تنفس کے دوران استعمال میں آنے والے تنفّسی سبسٹریٹ پر منحصر ہوتا ہے۔ جب کاربوہائڈریٹ سبسٹریٹ کی صورت میں آکر مکمل طور پر تکسید ہوجاتا ہے تو تنفّسی تناسب ایک ہوگا۔کیونکہ برابر مقدار میں کاربن ڈائی آکسائڈ اور آکسیجن نکلتی ہے اور استعمال میں لائی جاتی ہے جیسا کہ نیچے مساوات میں بتایا گیا ہے۔

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{توانائی}$$

$$RQ = \frac{6CO_2}{6O_2} = 1.0$$

جب چربی تنفس میں استعمال ہوتی ہے تو تنفّسی تناسب 1.0 سے کم ہوتا ہے۔جب فیٹی ایسڈ،ٹرائی پا (Tripal mitin) کو سبسٹریٹ کی صورت میں استعمال کیا جاتا ہے تب تناسب کو اس طرح دکھایا جاسکتا ہے۔

$$\underset{\text{Tripalmitin}}{2(C_{51}H_{98}O_6)} + 145O_2 \longrightarrow 102CO_2 + 98H_2O + \text{توانائی}$$

$$RQ = \frac{102CO_2}{145O_2} = 0.7$$

جب پروٹین کا استعمال سبسٹریٹ کی صورت میں ہوتا ہے تب تناسب تقریباً 0.9 ہوتا ہے۔

یہاں یہ جاننا بہت ہی ضروری ہے کہ جانداروں میں تنفّسی سبسٹریٹ اکثر ایک خاص پروٹینز سے زیادہ ہوتے ہیں۔خالص پروٹین یا چربی کو کبھی بھی تنفّسی سبسٹریٹ کی صورت میں استعمال نہیں کیا جاتا ہے۔

خلاصہ

حیوانوں کی طرح پودوں میں سانس لینے یا گیسوں کے تبادلہ کے لیے کوئی خاص نظام نہیں ہوتا ہے۔ اسٹومیٹا اور لینٹیکل نفوذ کے ذریعے گیسوں کے تبادلہ میں مدد کرتے ہیں۔ پودوں میں تقریباً سبھی جاندار خلیوں کی سطحیں ہوا کے تماس میں ہوتی ہیں۔

پیچیدہ نامیاتی سالموں کی تکسید کے ذریعے C-C بانڈ کے ٹوٹنے کے بعد جب خلیہ سے توانائی کی زیادہ مقدار نکلتی ہے تو اسے خلوی تنفس کہتے ہیں۔ تنفس کے لیے گلوکوز سب سے زیادہ موزوں تنفّسی ہے۔ چربی اور پروٹینز کے ٹوٹنے کے بعد بھی توانائی نکلتی ہے۔ خلوی تنفس کا ابتدائی مراحلہ سائٹوپلازم میں واقع ہوتا ہے۔ ہر ایک گلوکوز کا سالمہ انزائم کیٹلائز تعاملات کے سلسلے کے نتیجے میں پائی رووک ایسڈ کے دو سالموں میں ٹوٹ جاتا ہے۔ اس عمل کو گلائیکولِسس کہتے ہیں۔ پائرووِیٹ(Pyruvate) کا مستقبل آکسیجن کی موجودگی پر اور جانداروں پر منحصر کرتا ہے۔ ہواباش حالتوں میں یا تو لیکٹک ایسڈ کی تخمیر ہوتی ہے یا الکحل کی۔ بہت سارے پروکیریوٹس، یک خلوی یوکیریوٹس اور کلے پھوٹتے ہوئے بیجوں میں تخمیر کا عمل ہواباش حالتوں میں ہوتا ہے۔ یوکیریوٹک جانداروں میں آکسیجن کی موجودگی میں ہواباش تنفس ہوتا ہے۔ (Pyruvic acid) مائی ٹو کانڈریا میں جانے کے بعد ایسٹائل CoA میں بدل جاتا ہے، ساتھ میں کاربن ڈائی آکسائڈ نکلتی ہے۔ اس کے بعد ایسیٹائل CoA ٹرائی کاربوسلک پاتھ وے یا کریبس سائیکل میں داخل ہوتا ہے جو مائی ٹو کانڈریا کے میٹرکس میں انجام پذیر ہوتی ہے۔ کریبس سائیکل میں $NADH+H^+$ اور FADH2 بنتا ہے۔ ان سالموں اور $NADH+H^+$ جو گلائیکولِسس کے دوران بنتا ہے، کی توانائی کا استعمال اے ٹی پی کے بننے میں ہوتا ہے۔ یہ مائیٹوکانڈریا کی اندرونی جھلی پر پائے جانے والے الیکٹران حمال جسے (ETS) (Electron Transport System) کہتے ہیں، کے ذریعے تکمیل کو پہنچتا ہے۔ الیکٹران جیسے جیسے اس نظام سے ہو کر جاتا ہے اس میں نکلنے والی توانائی اے ٹی پی کو بناتی ہے۔ اسے آکسیڈیٹو فاسفوری لیشن (Oxidative Phosphorylation) کہتے ہیں۔ اس عمل میں الیکٹران کا آخری ایکسیپٹر آکسیجن ہوتی ہے جو پانی میں تحویل ہو جاتی ہے۔

تنفس پاتھ وے میں اینابولزم اور کیٹابولزم دونوں عمل حصہ لیتے ہیں لہٰذا اسے امفی بولک پاتھ وے کہتے ہیں۔ تنفّسی تناسب کا انحصار، تنفس کے دوران تنفّسی سبسٹریٹ کے استعمال پر ہوتا ہے۔

مشق

1۔ تفریق کیجیے:

(a) تنفس اور احتراق

(b) گلائیکولِسس اور کریبس سائیکل

(c) ہواباش تنفس اور تخمیر

2۔ تنفس سبسٹریٹ (Respiratory Substrates) کیا ہیں؟ سب سے عام تنفّسی سبسٹریٹ کا نام لکھیے۔

3۔ گلائی کولسس کی اسکیم کا خاکہ بنائیے۔

4۔ ہواباش تنفس کے خاص مرحلے کون سے ہیں؟ یہ عمل کہاں واقع ہوتا ہے؟

5۔ کریب سائیکل کے تمام پہلوؤں کی اسکیم کا خاکہ بنا ہے۔

6۔ ETS کو سمجھائیے۔

7۔ مندرجہ ذیل کے درمیان فرق بتائیے۔

(a) ہواباش تنفس اور غیر ہواباش تنفس

(b) گلائی کولسس اور تخمیر

(c) گلائی کولسس اور سٹرل ایسڈ سائیکل

8۔ اے ٹی پی کی تحسیب کے دوران کیا کیا مفروضات کیے جاتے ہیں؟

9۔ ''تنفّسی پاتھ وے ایمفی بولک پاتھ وے ہے'' بحث کیجئے۔

10۔ تنفّسی تناسب کی تعریف بیان کیجئے۔ چربی کا تنفّسی تناسب کیا ہے؟

11۔ تکسیدی فاسفوریلیشن (Oxidative Phosphorylation) کیا ہے؟

12۔ تنفس کے دوران توانائی کے مرحلہ وار اخراج کی کیا اہمیت ہے؟